

**Wolfgang Weller**

## **Bauformen von Windkraftanlagen**

### **Klassische und neuere Bauformen von Windkraftanlagen**

#### **1. Bedeutung der Stromerzeugung aus Windkraftwerken**

Der stattfindende Temperaturanstieg in der Atmosphäre zwingt zur Einleitung energischer Gegenmaßnahmen von globaler Tragweite. Deshalb wurden im Rahmen internationaler Maßnahmen stufenweise zu erreichende Klimaziele festgelegt. Deren Erreichung erfordert u. a. eine schrittweise Abkehr von der bisherigen Nutzung fossiler Energieträger zugunsten des Einsatzes regenerativer Energiequellen. Zu den wichtigsten natürlichen Energieträgern gehört mit Abstand die Windenergie, gefolgt von der Nutzung solarer Strahlung (Photovoltaik), der Vergasung von Biomasse und der Wasserkraft.

Dieser Technologiewechsel vollzieht sich im Rahmen eines sich über Jahre hinweg erstreckenden Umstellungsprozesses. Dazu wird in einem vom *Fraunhofer-Institut ISE* veröffentlichten Report der im Jahr 2020 erreichte Stand veröffentlicht. Danach wird der in Deutschland in diesem Jahr benötigte Strom von 488 Mrd. kWh gegenüber dem Anteil des der auf klassischen Energieträgern auf fossiler und kerntechnischer Basis erzeugten Gesamtleistung erstmals zu mehr als der Hälfte aus regenerativen Energieträgern erzeugt [1], [2]. Davon trägt allein die Windenergie mehr als die Hälfte der erbrachten Leistung gegenüber der Gesamtheit aller übrigen regenerativen Energieträger. Diese Gegenüberstellung unterstreicht die herausragende Bedeutung der Windkraftnutzung im Zusammenhang mit dem energetischen Umstellungsprozess. Diese führende Rolle ist auf die besonderen Eigenschaften dieses Energieträgers zurückzuführen, unter denen die hohe Beständigkeit der Verfügbarkeit dieser Energiequelle an vorderster Stelle steht.

#### **2. Dreiflügelige Windturbinen in Horizontalachs-Bauweise**

Wenn die Windkraftwerke nach vorstehender Darstellung die mit Abstand wichtigsten regenerativen Energiekraftwerke sind, dann ist es sicherlich interessant, sich mit deren Aufbau zu beschäftigen. Fährt man über Land, so scheinen diese durch eine einzige *Bauform* bestimmt. Diese ist dadurch gekennzeichnet, dass derartige Windkraftanlagen einen schlanken in Beton ausgeführten turmartigen Aufbau besitzen an dessen oberem Ende sich eine drehbare Gondel befindet. Diese enthält eine horizontal orientierte Drehachse, die einen dreiflügeligen Rotor trägt, der mit der Nabe fest verbunden ist. Windturbinen dieser Art treiben dann, direkt oder über ein Getriebe, einen Generator an, der den gewünschten elektrischen Strom erzeugt. Das bestimmende Merkmal dieses Typs ist die *horizontal* ausgerichtete Drehachse, weshalb man diese Bauform auch verkürzt auch als Horizontalacher bezeichnet. Unsere Aufmerksamkeit gilt zunächst diesem vorherrschenden Typ, dessen Besonderheit in der Ausstattung des Rotors mit *drei Flügeln* besteht. Das allbekannte Erscheinungsbild solcher Windkraftwerke wird durch **Bild 1** wiedergegeben.



**Bild 1** Windkraftanlage in Horizontalbauweise mit dreiflügeliger Turbine

Das in **Bild 1** gezeigte Foto vermittelt den Eindruck, dass Windkraftanlagen dieses Typs nur an *Land* errichtet werden, wofür vor allem Orte mit hohem Energieaufkommen, also etwa küstennahe Bereiche oder in Gebirgsregionen, infrage kommen. Weniger auffällig ist indessen die zunehmende Errichtung solcher Windkraftanlagen in küstennahen Meeresgebieten und dort in konzentrierter Form als sog. *Windparks*. Die Ausweitung der Standorte auf den sog. *Offshore-Bereich* ist dadurch begründet, dass dort die Leistungsausbeute bedeutend größer und auch gleichmäßiger ist und auch kein anderweitig nutzbarer Boden verbraucht wird. Nicht zuletzt werden auf diese Weise auch die den weiteren Ausbau der landgestützten (Onshore) Windkraftanlagen hemmenden Einsprüche von Bürgerinitiativen und auch Naturschützern umgangen, die mit Geräuschemissionen bzw. Gefahren für die Vogelwelt begründet werden. Bei der Gründung von Windkraftwerken im Offshore-Bereich finden neben der sog. *Monopile*-Technologie (s. **Bild 2**) auch dreibeinige **Tripode**-Fundamente Anwendung.



**Bild 2** Offshore-Windpark mit Windkraftanlagen mit Monopile-Gründung

Für den Offshore-Bereich werden inzwischen neue Mega-Turbinen entwickelt. So wurde von *Siemens Gamesa* bereits 2018 eine Windkraftanlage mit 10 MW Leistung und einem Rotordurchmesser von 193 m in sog. Direct Drive-Technologie vorgestellt [3]. Das gleiche Leistungsangebot verspricht auch eine von *Vestas* vorgesehene Anlage. Auch der Hersteller *GE* hat eine Anlage mit 12 MW Leistung angekündigt, die südöstlich von Edinburgh errichtet werden soll.

Windkraftanlagen in Horizontalbauweise haben die Eigenschaft, dass der erzielte Energieeintrag von der Anstellung der Rotationsachse in Relation zur Strömungsrichtung des Windes abhängt. Die maximale Stromausbeute wird dann erreicht, wenn die beiden Richtungen übereinstimmen. Dies hat zur Folge, dass die Horizontalachse der Windturbine der jeweiligen Windrichtung nachzuführen ist. Die Gondel muss also stets „in den Wind“ gedreht sein. Dieser Zustand lässt sich auf selbsttätige Weise durch Einsatz einer Steuerung mit Optimisierungsverhalten erreichen

Die Abhängigkeit von der aktuellen Windrichtung hat durchaus auch ihre positive Seite. Damit besteht nämlich die Möglichkeit, die aus Windkraft erzeugte Strommenge bewusst zu dosieren oder gar zu unterbinden, im letztgenannten Fall dadurch, dass die Turbine ganz „aus dem Wind“ gedreht wird.

Damit besteht eine einfache Möglichkeit, eine Überlastung des angeschlossenen Stromnetzes bei einem beständigen Überangebot von Windstrom zu verhindern bzw. auch Wartungs- oder Reparaturarbeiten bei stillgesetzter Windturbine durchzuführen.

### 3. Zweiflügelige Windturbinen in Horizontalachs-Bauweise

Trotz der Dominanz der Dreiflügelanlagen in Horizontalbauweise hat man sich wiederholt mit der Frage beschäftigt, ob sich nicht durch Änderungen der Bauweise Vorteile erzielen lassen, welche eine Verringerung des Bauaufwandes, Minderung der Belastung, Vereinfachung der Wartung oder auch Kostenvorteile anderer Art ermöglichen. Da mag man zuerst auf die Senkung der Anzahl der Rotorblätter von drei auf zwei gedacht haben. Damit gelangt der sog. *Zweiflügler* in den Blickpunkt der Entwickler von Windkraftanlagen. Dazu hat es in der Vergangenheit schon mehrfach Untersuchungen gegeben, deren bekannteste wohl das Projekt *Growian* ist [4]. Die verschiedenen, teilweise bis zu Versuchsanlagen entwickelten Lösungen waren bisher für den Landeinsatz (Onshore) vorgesehen. Die diesbezüglichen Arbeiten wurden allerdings aus verschiedenen Gründen früher oder später wieder eingestellt, ohne dass es zu eindeutigen Ergebnissen gekommen ist.

Nachdem heutzutage neuartige technische Lösungen zur Verfügung stehen und nunmehr der Offshore-Bereich als Standort bedeutsamer geworden ist, befasst man sich derzeit erneut mit der Stromerzeugung unter Verwendung von Zweiflüglern. Ein Beispiel dafür ist die 3,6 MW-Anlage der Firma *Envision Energy in Thyrborn/Dk*, von der in **Bild 3** ein Eindruck vermittelt wird.



**Bild 3** Zweiflügelanlage der Fa.  
*Envision Energy in Thyrborn/Dk*

Diese Ausführung ist der Literaturstelle [5] entnommen, in der vor allem über ein anderes, an der Hamburger Hochschule *HTW* laufendes Forschungsprojekt berichtet wird. Zunächst wird eine Vergleichsbasis zwischen Drei- und Zweiflüglern geboten, aus der hervorgeht, dass Zweiblattturbinen zur Erzielung vergleichbarer Leistungen mit einer höheren Drehzahl betrieben werden und auch die Flügel ein speziell konstruiertes Profil erhalten sollten. Als ein Novum ist die Empfehlung Verwendung einer modernen *Pendelnabe* zu werten. Darunter ist eine Konstruktion zu verstehen, bei der entgegen der bei Dreiflüglern üblichen starren Verbindung zwischen Nabe und Rotorachse eine Nabe zusammen mit den beiden Flügeln beim Umlauf nunmehr eine Winkelbewegung durchläuft. Dies ermöglicht bei korrekter Auslegung, dass die Rotorblätter während der Rotation um die Horizontalachse stets optimal zum Wind gestellt werden womit ein höherer Wirkungsgrad erzielt wird. Diese Bewegung wird durch ein Getriebe erzeugt und von einer sog. Pitchregelung gesteuert.

Eine weitere Empfehlung richtet sich auf die zu bevorzugenden Standorte solcher Zweiflüglern. Hier wird auf den Einsatz im Offshore-Bereich orientiert, vor allem wegen der erhöhten Lärmbelästigung und vielleicht auch des gewöhnungsbedürftigen Erscheinungsbildes solcher Windkraftanlagen. Hier kommen auch die Vorzüge solcher Anlagen, wie geringeres Gewicht und vereinfachte Wartung besonders zum Tragen.

Alles in Allem betrachtet könnten somit nach den gegebenen Empfehlungen entwickelte Zweiflügler eine durchaus konkurrenzfähige Bauform darstellen. Man darf also gespannt sein auf die Realisierung

der ersten Windkraftwerke dieser Bauart und deren Testergebnisse gespannt sein. Am Rande sei noch vermerkt, dass zweiflügelige Windkraftanlagen in Form von Kleinanlagen durchaus in Gebrauch sind. So finden zweiflügelige Windstromerzeuger im Kleinformate jenseits der industriellen Stromerzeugung auf Yachten und Caravans als bordeigene Stromerzeuger Verwendung. Ein anderer Einsatzfall solcher Ministromerzeuger findet sich auf Einfamilienhäusern und Wohnanlagen als Ergänzung zur primär vorhandenen Photovoltaikanlage [6]. Da die Stromgewinnung aus beiden Quellen unterschiedliche Charakteristiken aufweist, lässt sich auf diese Weise ein wesentlich höherer Grad an Eigenversorgung erzielen. Zudem ist auch die notwendige Ausrichtung der Miniwindkraftanlage auf die jeweilige Windrichtung wiederum nützlich, weil darüber der Anteil der Windstromerzeugung bis herunter zu null verändert werden und somit das Minigrid vor Überlastungen geschützt werden kann.

Bei den Miniwindkraftanlagen gibt es bei den Elektronikfirmen und Internethändlern ein bezüglich der Leistungen und Kosten breit gefächertes Angebot. In **Bild 4** ist dazu mit dem Produkt *Breezebraker* ein typisches Beispiel einer solchen zweiflügeligen Miniwindkraftanlage wiedergegeben.



**Bild 4** *Breezebraker* - Beispiel einer zweiflügeligen Kleinwindkraftanlage [7]

Wie ersichtlich, handelt es sich um eine Anlage, die für den Landeinsatz vorgesehen ist.

#### **4. Bauformen von Vertikalachs-Windturbinen**

Die zuvor behandelten drei- und zweiflügeligen Windkraftanlagen, zu denen eigentlich auch die vierflügeligen Typen gehören, die bei den traditionellen Windmühlen verwendet werden, sind keinesfalls die einzige grundlegende Bauform zur Ausnutzung der Windenergie. Die Rotationsachse der Windturbinen kann durchaus auch *vertikal* orientiert sein, wobei sich dann aber völlig andersartige Lösungen ergeben. Somit stellt sich die Frage, ob auch auf diese Weise technische Lösungen entwickelt werden können, die für die industrielle Stromerzeugung aus regenerativen Quellen nutzbar sind.

Dazu werden wir uns zunächst ein Bild von den von den bekannt gewordenen Bauformen solcher *Vertikalrotor-Windturbinen*, abgekürzt *VAWTs* (*Vertical Axis Wind Turbines*), machen. Bei den diesbezüglichen Recherchen ist zunächst festzustellen, dass Vertikalachser eigentlich das ältere Lösungsprinzip darstellen, als bereits im alten China und Persien diese Bauform zum Betreiben von Windmühlen genutzt wurde. Die seinerzeit verwendete Lösung besaß mehrere um die Rotationsachse angeordnete paddelartige Körper, die von der Windströmung angetrieben wurden. In heutiger Zeit findet man diese Lösung in abgewandelter Form in den Schalenkreuz-Anemometern wieder, bei denen hohle Halbkugeln der Windströmung ausgesetzt werden und die der Messung der Windstärke dienen.

Das Interesse an Vertikalachs-Windturbinen hat sich inzwischen neu belebt, woraus verschiedene neuartige technische Lösungen hervorgegangen sind. Diese lassen sich zwei unterschiedlichen Wirkprinzipien zuordnen [8]. Die eine Kategorie bilden die sog. *Widerstandsläufer*. Diese enthalten gebogene und bis in die Nähe der Rotationsachse reichende schaufelartige Flächen. An diesen entsteht durch die Anströmung ein Staudruck, der eine radial wirkende Kraft erzeugt und damit ein Drehmoment bewirkt. Die Kraftwirkung ist bei stehendem Rotor am größten und reduziert sich mit zunehmender Rotationsgeschwindigkeit. Dementsprechend sind die auf dem Wirkprinzip des Strömungswiderstandes beruhenden Vertikalachs-Rotoren ausgesprochene Langsamläufer und werden daher vorwiegend für den Einsatz in Schwachwindgebieten eingesetzt.

Eine bekannte Bauform sind die *Savonius-Vertikalachser* [9]. Dort finden als Widerstandskörper einander gegenüberstehende gebogene Schaufeln Verwendung, die bis in die Nähe der Rotationsachse reichen und durchaus in größerer Anzahl vorhanden sein können. Im Extremfall können ähnlich einem Querstromventilator viele am Umfang verteilte Schaufeln vorhanden sein. Ein Ausführungsbeispiel einer *Savonius-Turbine* wird in **Bild 5** gezeigt,



**Bild 5** Beispiel eines Widerstandsläufers in *Savonius*-Bauform

Die zweite wesentliche Kategorie von Vertikal-Rotoren sind die sog. *Auftriebsläufer*. Das Prinzip des Auftriebs ist vor allem in der Luftfahrttechnik von grundlegender Bedeutung. Dort macht man sich zunutze, dass bei der Anströmung von horizontal ausgebreiteten und in geeigneter Weise profilierten Tragflächen eine nach oben gerichtete Kräfte erzeugt wird, die das Eigengewicht von Flugzeugen kompensieren und diese somit in der Luft halten kann. Dieses Prinzip hat der Erfinder, *Georges Darrieus*, vor ca. 100 Jahren genutzt, um verschiedene rotatorische Lösungen in für Windturbinen zu entwickeln. Diese Konstruktionen enthalten mehrere um die (vertikale) Rotationsachse verteilte tragflächen-ähnlich profilierte Auftriebskörper. Bei der durch den Wind entstehenden Umströmung dieser Körper entsteht auf der Vorderseite ein Sog, dem an der Rückseite ein leichter Überdruck gegenübersteht. Aus der auf diese Weise erzeugten Druckdifferenz resultiert eine senkrecht zum Flügel gerichtete Kraft, die ein nutzbares Drehmoment liefert. Dieses ist umso größer, je stärker die Anströmung ist. In **Bild 6** wird die Urform eines solchen Auftriebsläufers gezeigt, welche das erläuterte Funktionsprinzip gut erkennen lässt.



**Bild 6** Urform eines Auftriebsläufers

Eine neuzeitliche Variante dieses Typs veranschaulicht **Bild 7**.



**Bild 7** moderne Bauform einer *Darrieus-Turbine*

*Darrieus-Rotoren* sind ausgesprochene Schnellläufer mit vergleichsweise hohem Wirkungsgrad. Im Stillstand kann es wegen des geringen Drehmoments allerdings zu Anlaufproblemen kommen, die jedoch beherrschbar sind.

Auftriebsläufer wurden in verschiedenen Bauformen entwickelt, unter denen insbesondere die O-, H- und Helix-Form zu nennen sind [10]. Wir beschränken uns hier in **Bild 8** auf die Wiedergabe einer besonders pittoresken Variante eines *Darrieus-Rotors* in Helix-Form [11].



**Bild 8** *Darrieus-Rotor* in Schneebesen-Form

Häufig werden beide Wirkprinzipien vereint, um die jeweiligen Vorteile zusammenzuführen. Auf diese Weise entstehen dann kombinierte *Darrieus-Savonius-Turbinen*.

Die Eigenschaften von Vertikalachs-Windturbinen unterscheiden sich gegenüber denen klassischer horizontalachsiger Windkraftanlagen. Dazu gehört die Robustheit der Windkraftanlagen gegenüber wechselnden Windstärken sowie die Unabhängigkeit des Betriebs von der jeweiligen Windrichtung. Damit entfällt zwar der ansonsten nötige Aufwand zur Ausrichtung der Windkraftanlage in die jeweilige Strömungsrichtung. Andererseits gibt es jedoch keine einfache Möglichkeit der Abschaltung von vertikalachsigen Windkraftanlagen in Starkwindsituationen bzw. bei Stromüberschuss zum Schutz des angeschlossenen Stromnetzes. Andere Nachteile sind die bestehende Schwingungsneigung der Auftriebsrotoren sowie ein besonders bei verdrehten Rotoren vorhandenes pulsierendes Drehmoment.

Im Ergebnis der Durchmusterung bekannter Bauformen von Windturbinen vertikalachsiger Typs stellen wir fest, dass nur einige von ihnen eine begrenzte Verbreitung im Kleinformat gefunden haben, von denen auch einige zur Stromerzeugung eingesetzt werden, andere jedoch eher dekorativen Zwecken dienen. Für die industrielle Stromgewinnung aus Windkraft haben sie jedoch bislang keine nennenswerte Bedeutung erlangt.

## **5. Vertikalachs-Windturbinen vom Typ *Vertical Sky***

In der Zwischenzeit erlangte Erkenntnisse und entstandene innovative technische Lösungen waren wohl der Anlass, erneut über die Gestaltung und die Einsatzmöglichkeiten von Windkraftanlagen mit vertikaler Rotationsachse nachzudenken. Dieser Herausforderung hat sich eine schweizerische innovative Startup-Firma mit Namen *Agile Windpower AG* gestellt und sich der Aufgabe widmet, eine



möglichst konkurrenzfähige Vertikalachs-Variante gegenüber den dominierenden horizontalachsigen Windkraftanlagen zu entwickeln und auch auf den Markt zu bringen [11]. Die hier verwendete Bauform basiert auf der *Darrieus-Variante* und wird als Pilotlösung in **Bild 9** veranschaulicht.



**Bild 9** Ansicht der Vertikalachs-Windkraftanlage namens *Vertical Sky* [11]

Im Vergleich zu der zuvor in **Bild 7** gezeigten Ursprungsvariante werden hier die drei um eine senkrechte Achse kreisenden lamellenartigen Anströmkörper mittig gefasst und dort mit einem Drehkreuz verbunden. Auffällig ist insbesondere der breit aufgestellte ausladende Stahlgittermast mit 4 Standbeinen. An der Oberseite dieses Aufbaus befindet sich dann der von der Windturbine angetriebene Generator. Bemerkenswert sind auch die Ausmaße dieser Windkraftanlage. Die Gesamthöhe der Windkraftanlage beträgt laut Angaben des Herstellers 105 m, und das Drehkreuz hat einen Durchmesser von 30 m. Die drei verteilt angeordneten Flügel haben eine Länge von 34 m. Die erzielbare Nennleistung soll 750 kW betragen. Das sind schon Werte, welche in den Bereich der frühen klassischen Windkraftanlagen reichen.

Der Prototyp der *Vertical Sky* genannten Anlage wurde auf einem Testgelände in Grevenbroich nahe Düsseldorf einem Testlauf unterzogen. Während dieser Phase kam es jedoch zum Bruch eines Rotorarms. Diese Havarie war wohl auf eine unerwartet einwirkende heftige Böe mit plötzlichem Richtungswechsel zurückzuführen, der die Konstruktion nicht gewachsen war. Die daraufhin durchgeführten Berechnungen und Simulationen haben inzwischen zu einer stabileren technischen Lösung geführt.

Die hier verwendete Problemlösung zeichnet sich gegenüber den bisherigen Ausführungen von Vertikalachsen vom *Darrieus*-Typ dadurch aus, dass die speziell geformten Lamellen mit dem umlaufenden Kreuz nicht mehr fest verbunden, sondern drehbar sind. Diese drehbare Lagerung der Lamellen notwendig, um die flügelartigen Lamellen in jeder Phase des periodischen Umlaufs um die senkrechte Drehachse in optimaler Winkelstellung in den Wind zu bringen. Diese Maßnahme war notwendig, um die maximale Leistung zu erreichen und somit gegenüber den herkömmlichen horizontalachsigen Windkraftanlagen konkurrenzfähig zu werden. Diese technische Lösung erforderte dann die Verwendung von Aktuatoren zur Betätigung der Winkelverstellungen sowie eine ausgeklügelte Steuerung, die hochdynamisch reagieren muss, um auf schnelle Wechsel der Windstärke und -richtung zeitnah reagieren zu können. Dies bedeutete, dass im vorliegenden Fall bis zu 4.000 Messungen pro Sek. vorzunehmen und zu verarbeiten sind. Diese Herausforderung will der Entwickler dieser Vertikal-Windkraftanlage durch eine sog. *Pitch-Steuerung* erfolgreich bewältigt haben.

Aus den Ausführungen geht nicht hervor, ob damit schnelle Wechsel der Windrichtung beherrscht werden und welche Möglichkeiten bei diesem Vertikalachser genutzt werden, um die Stromerzeugung ggfs. zu drosseln bzw. auf null herunter zu regeln. Dennoch ist der ambitionierte Geschäftsführer des Herstellers optimistisch, das Projekt *Vertical Sky* bis spätestens 2020 zur Marktreife zu bringen [11].

Bezüglich der zu erwartenden Einsatzfälle werden vor allem Fälle ins Auge gefasst, für die herkömmliche Windkraftanlagen weniger geeignet sind. Dazu zählen Gebiete mit geringerer

Tragfähigkeit der Böden, vor allem aber kleinere Bedarfsträger geringerer Größe, wie Siedlungseinheiten, Gewerbegebäude, Betriebe, Kläranlagen u. a..

Aus den vorstehenden Ausführungen geht summa summarum hervor, dass vermutlich die klassischen dreiflügeligen Windkraftanlagen mit horizontaler Drehachse weiterhin dominieren werden, aber neu entstehende Bauformen als Alternativlösungen in gewissen Fällen durchaus eine Chance bekommen. Die Welt der Windkraftanlagen wird also bunter werden.

## Literaturverzeichnis

- [1] Strom-Report. see: <https://strom-report.de/strom/...>
- [2] Institut für Solare Energie-Systeme. see: <https://de.linkedin.com/fraunhofer-ise-freiburg>
- [3] Neue Megaturbinen für den Offshore-Bereich. see:  
<https://www.windbranche.de/news/nachrichten/artikel-357...>
- [4] Weinhold, N.: Growian hat geschadet? Magazin Erneuerbare Energien, TURBINENFORSCHUNG 15. März 2021 NEWSLETTERAUSGABE 39/2020, see:  
[https://www.erneuerbareenergien.de/bingt-zweiblattanlage-zweistellige-kosteneinsparun#utm\\_medium...](https://www.erneuerbareenergien.de/bingt-zweiblattanlage-zweistellige-kosteneinsparun#utm_medium...)
- [5] Weinhold, N.: Bringt Zweiblatt-Windkraftanlage zweistellige Kosteneinsparung? Magazin Erneuerbare Energien, 15. März 2021 NEWSLETTERAUSGABE 11/2021, see:  
[https://www.erneuerbareenergien.de/bringt-zweiblatt-anlage-zweistellige-kosteneinsparung?utm\\_s...](https://www.erneuerbareenergien.de/bringt-zweiblatt-anlage-zweistellige-kosteneinsparung?utm_s...)
- [6] Weller, W.: Stromerzeugung aus regenerativen Energien. Druck und Verlag epubli GmbH. als printBOOK. ISBN 978-3-753133-99-7, als eBook ISBN 978-3-753120-95-9
- [7] *Breezebraker* – ein Produkt der Fa. *FuSystems SkyWind* GmbH, Bayernstraße 3, 30855 Langenhagen
- [8] Gasch, R.: Windkraftanlagen .Grundlagen, Entwurf, Planung und Betrieb. Hrsg. Tewe, J., 8. Aufl. Springer 2013, ISBN 3-8348-0693-5
- [9] Schulz, H.: Der Savonius-Rotor. Ökobuch, Staufen 2002, ISBN 3-922964-48-6
- [10] Magazin Erneuerbare Energien. Steuerungstechnik am Vertikalachser, TURBINENTECHNIK 7. Febr.2021. see: <https://www.erneuerbareenergien.de/steuerung>
- [11] Vertical Sky – eine innovative Windkraftanlage mit vertikaler Rotationsachse. see:  
<https://www.agilewindpower.com>

## Nachwort

Die vorstehenden Darlegungen über Windkraftanlagen mögen vielleicht Interesse hervorgerufen haben, mehr über diese Hauptträger des laufenden Technologiewandels oder überhaupt über den Energiewandel und die damit zusammenhängenden Fragen zur Bewältigung der Energiewende, die bestehende Problematik, den vorgesehenen Lösungsprozess, die insgesamt dafür eingesetzten regenerativen Energiequellen und zugehörigen Kraftwerke zur technischen Verwertung, die entwickelten Lösungskonzeptionen bis hin zu vorgeschlagenen Zukunftslösungen zu erfahren. Dem sei die Monografie

**Stromerzeugung aus regenerativen Energien – Wie der Klimawandel bewältigt wird**  
empfohlen.





Dieses Buch ist sowohl

als PrintBOOK (ISBN 978-3-753133-99-7)

als auch eBook (ISBN 978-3-753120-95-9)

im Buchhandel erhältlich oder auch über das  
Internet beziehbar